

Chapitre 13

IHM, cognition et environnements d'apprentissage

13.1. Introduction

Les systèmes biologiques ont appris quelque chose quand ils sont capables de réutiliser une trace d'un environnement dans le même ou un autre environnement, ultérieurement. Ces traces peuvent avoir pour source un événement, une différence, un signe, etc. Chez les êtres humains, ces traces sont souvent dans un registre cognitif, assez élaboré et codé : souvenirs, mais aussi interprétations, concepts, savoir-faire, méthodes, etc. Parfois même ces traces cognitives sont plus le fait d'un projet de l'être humain sur son environnement ou sur lui-même, que d'un aspect de l'environnement extérieur au contrôle du sujet. Quelquefois, les environnements d'apprentissage sont conçus par des êtres humains : on parle alors d'enseignement. Quelquefois, ces environnements d'enseignement sont présentés et gérés par l'intermédiaire d'un ordinateur. La conception et l'utilisation de ce type particulier d'environnement d'apprentissage (enseignement par l'intermédiaire d'un ordinateur) pose un certain nombre de problèmes. L'objet de ce chapitre est de présenter ces problèmes de conception et d'utilisation (qui, par définition, sont d'ordre cognitif) et de relater quelques-unes des solutions qui ont été apportées.

Depuis le début des années 1960, les façons de concevoir les environnements d'enseignement par l'intermédiaire d'un ordinateur ont été fortement influencées par deux disciplines : la psychologie, en particulier la psychologie des apprentissages, et l'informatique, en particulier l'intelligence artificielle. Ces façons de concevoir ont suivi les modes de ces deux disciplines (voir la synthèse de Bruillard [BRU 97]). L'enseignement programmé du début des années 60 était très behavioriste. Les tuteurs intelligents des années 70-80 étaient des systèmes experts. Le langage LOGO était une tentative d'application de l'approche constructiviste de Piaget. Depuis la fin des années 80, les environnements d'apprentissage informatisés (EAI) sont

2 L'Ingénierie Cognitive : IHM et Cognition

souvent des hypermédias. Pendant trente années pourtant, on ne peut pas dire que cette utilisation de l'ordinateur à des fins d'apprentissage ait connu un grand succès, en dehors des revues ou des ouvrages dans lesquels les chercheurs publiaient leurs travaux. Si théoriquement ces travaux étaient passionnants, dans la pratique, peu d'élèves dans peu de classes utilisaient vraiment l'ordinateur pour apprendre. Ce décalage est sans doute lié à un problème d'équipement, mais aussi à un problème de conception. Au début des années 90, quelques auteurs ont commencé à aborder la conception de ces systèmes selon une approche d'ingénierie cognitive et d'ergonomie des interactions homme - machine (voir notamment la série d'ouvrages issus des ateliers de « Technologies Éducatives Avancées » de l'OTAN [JON 90; GIA 92; OLI 92]). En bref, on semble progressivement renoncer depuis une dizaine d'années aux approches « applicatrices » (*i.e.* concevoir c'est appliquer une théorie pour réaliser un artefact) au profit d'approches d'ingénierie (*i.e.* concevoir est un procédé méthodique de prise en compte d'un ensemble de contraintes et de connaissances au service de buts à atteindre, pour réaliser un artefact). Il devient commun dans les colloques importants comme « Hypermédias et Apprentissages » [ROU 98] d'afficher les préoccupations ergonomiques et cognitives comme prioritaires, tout comme d'afficher les environnements d'apprentissages comme un des thèmes majeurs des fameux colloques « CHI » (*Computers Human Interaction*). L'objectif de cet article est de faire le point sur quelques connaissances disponibles au service des démarches d'ingénierie des environnements d'apprentissage informatisés. Le lecteur trouvera par ailleurs des ouvrages plus détaillés et récemment publiés comme celui de Sweller [SWE 99] consacré plus particulièrement aux apprentissages scientifiques et techniques, et, pour des approches plus générales des apprentissages, les ouvrages de Mayer [MAY 01] ou de Rouet [ROU 01] consacré aux applications multimédias ou celui de Wolfe [WOL 01] consacré au Web.

Dans une première partie, nous tentons de situer les niveaux auxquels se situent les apports de connaissances aux démarches d'ingénierie des EAI : celui des contenus, celui des interactions et, enfin, celui de l'interface. Nous rappelons le danger qu'il y a à situer l'ergonomie des systèmes du seul côté de l'amélioration de l'utilisabilité et à négliger l'utilité. Pour nous, il faut non seulement contribuer à rendre les EAI utilisables, mais aussi utiles, c'est-à-dire conduisant à l'apprentissage visé. Dans une seconde partie, trois catégories de méthodes utilisées dans ce champ sont évoquées : les méthodes de conception et leur rationalisation, les méthodes d'évaluation des interactions homme - machine (IHM), ainsi que les méthodes d'évaluation des apprentissages. Nous insistons sur les problèmes posés par l'interprétation des protocoles d'interaction utilisateur - machine. Ceci nous permet d'introduire la troisième partie où nous décrivons les principaux protocoles expérimentaux et variables utilisés. Ces trois premières parties sont en quelques sortes les préliminaires à la présentation, dans une quatrième partie, des principaux résultats obtenus dans le domaine. Ces résultats sont présentés selon les niveaux évoqués plus haut : contenus, interactions, interface. Enfin, les deux dernières

parties tentent de mettre en perspective ces résultats : Sont-ils utiles ? Sont-ils utilisés ? Dans quelle direction faudrait-il chercher de nouveaux résultats et de nouvelles méthodes ?

13.2. Position du problème

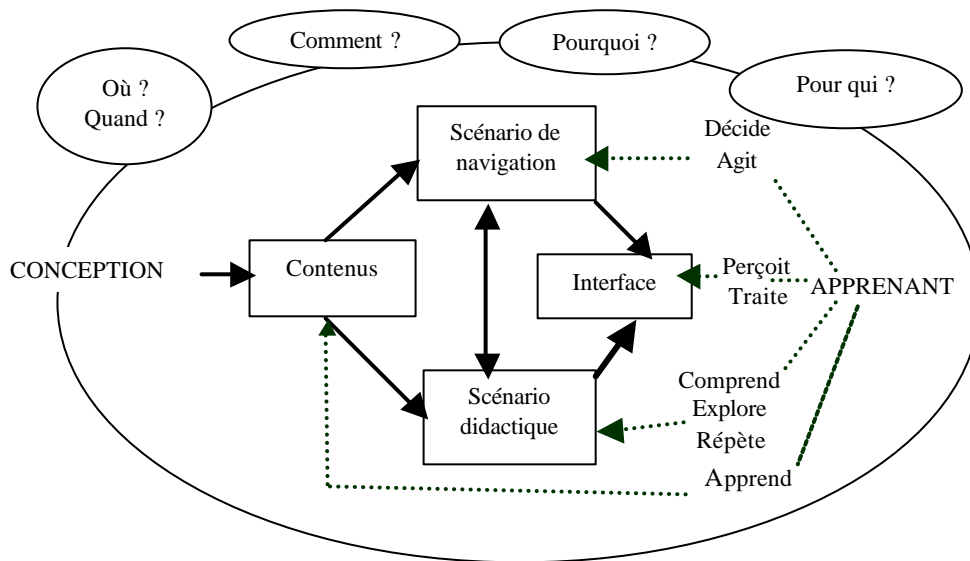


Figure 1. Espace de conception d'un EAI

En ingénierie des systèmes d'information, il est assez classique de distinguer différents niveaux de problèmes, dont celui des contenus, celui des interactions et celui de l'interface (e.g. [NAN 98; CAC 95]). On aborde ces aspects de la conception quand on a défini certains préalables, comme :

- les objectifs du système (pourquoi ?),
- les utilisateurs visés (pour qui ?),
- les tâches à réaliser par les utilisateurs (comment ?),
- les conditions d'utilisation du système, en termes de temps, de lieu, de ressources humaines ou informationnelles disponibles au moment de l'utilisation (où et quand ?), les ressources disponibles pour la conception elle-même, ainsi que les contraintes qui pèsent sur elle, en termes de temps, de moyens, d'organisation, etc.

Si, dans ce chapitre, nous ne discutons pas de ces préalables, ce n'est pas parce qu'ils ne sont pas importants. Ils sont au contraire absolument fondamentaux. Ils

constituent le cadre dans lequel le processus de conception va pouvoir se réaliser. Il nous semble que, dans le domaine des apprentissages, ces préalables, en particulier la description des tâches et des conditions d'utilisation sont parfois oubliés, expliquant une bonne part des échecs dans ce domaine. Dans la figure 1, nous avons voulu représenter les principaux aspects d'un EAI, tels qu'ils sont conçus par le concepteur (traits pleins) et traités par l'apprenant (traits pointillés).

n.2.1 Les contenus

Le niveau des contenus concerne les données¹, la structure et le grain de ce que l'on veut faire passer. Si, par exemple, on veut concevoir un environnement informatisé sur les métiers pour l'information des élèves de fin de collège, le niveau des contenus consiste en une liste des catégories de métiers que l'on veut traiter (alimentation, textile, informatique, etc.), une liste des métiers que l'on veut traiter au sein de chaque catégorie (boulangier, boucher, charcutier, etc.), des descripteurs de ces métiers (tâches, conditions de travail, salaire, etc.), de la structure générale de ces trois niveaux (par exemple : les catégories, objets et descripteurs des objets forment une arborescence stricte), du contenu et de la taille de chaque item (par exemple : les tâches sont décrites par 5 textes de 80 mots et 3 photographies). À ce niveau, la conception doit essentiellement traiter :

- l'extraction des données : Qui connaît bien le domaine ? Où sont les données ? Dans quels documents peut-on trouver des données pertinentes ? Ces documents ont-ils une structure et un contenu compatibles avec ceux qui sont envisagés dans l'application développée ? Comment extraire et re-structurer les données ? etc.

- l'adaptation à l'utilisateur : Ces contenus intéressent-ils les utilisateurs ? Répondent-ils à leurs questions ? La structure et la granularité envisagées leurs sont-elles familières ? Les textes (lexique, syntaxe, référents pragmatiques) et les images choisis sont-ils compréhensibles ? etc.

n.2.2 L'interaction... ou les interactions

Le niveau des interactions définit la façon dont l'utilisateur va interagir avec les données présentées. Il définit un scénario : l'ensemble des choix, des fonctionnalités

¹ Par « données » nous désignons des instructions relatives à un contenu à transmettre, stockées sur un support pour que l'utilisateur construise du sens. Les « connaissances » sont du côté de l'être humain, elles sont la source et le résultat de son activité cognitive (interprétations, concepts, savoir-faire, souvenirs, etc.). Les « informations » sont des contenus ou des événements qui ont permis à l'utilisateur de construire une connaissance nouvelle.

et des contraintes qui sont proposés ou imposés à l'utilisateur dans l'utilisation du système d'information. Le niveau des interactions définit donc, de façon plus ou moins rigide, l'ensemble des séquences d'actions possibles pour l'utilisateur, la ou les chronologies d'utilisation. Selon nous, il est tout à fait opportun, dans le domaine des apprentissages, de concevoir deux niveaux d'interaction, celui de l'apprentissage et celui de l'utilisation, correspondant à deux niveaux de tâches :

- le scénario didactique, qui concerne la façon dont les contenus sont représentés et structurés pour permettre à l'apprenant de construire des connaissances nouvelles et re-mobiliser des connaissances anciennes dans le domaine de contenu abordé.
- le scénario de navigation, qui concerne l'ensemble des fonctionnalités qui permettent à l'utilisateur d'utiliser le système d'information, les contraintes qui pèsent sur les accès aux informations.

Si, par exemple, on veut concevoir une banque d'exercices mathématiques pour la révision des équations du second degré, le scénario didactique pourrait consister à définir une progression des cas simples vers les plus complexes, à définir un ensemble d'allers - retours possibles entre des exercices et des explications sur les notions qui se rapportent aux exercices et, enfin, à définir un système d'analyse et de correction des réponses faites par les élèves. Le scénario de navigation pourrait, quant à lui, définir l'accueil qui est fait aux élèves (présentation des objectifs et des consignes), la possibilité ou non d'accéder à une table des matières, un index, un thésaurus, des liens locaux entre exercices analogues, etc. Ces deux niveaux d'interaction doivent être « visibles », au sens de Norman, et compatibles entre eux. Le scénario de navigation doit être « transparent ».

La compatibilité : les deux niveaux d'interaction sont compatibles si le scénario de navigation permet un ensemble d'actions qui ont du sens dans le scénario didactique, ne la contredisent pas. Par exemple, nous pouvons imaginer un scénario de navigation pour notre banque d'exercices, fondé sur la présence d'une table des matières dans une fenêtre à gauche de l'écran. Cette table des matières doit être cohérente avec la progression des exercices. Si, d'un point de vue didactique, la progression doit être strictement respectée, alors il faut définir une contrainte sur la table de matières, de sorte que tout exercice n ne soit atteignable que si et seulement si les exercices de niveau $n-1$ ont été traités avec succès. Un scénario de navigation fondé sur une indexation alphabétique des titres des exercices serait au contraire difficilement compatible avec le scénario didactique. Ce qui n'enlève rien à la qualité intrinsèque des index alphabétiques.

La qualité de transparence : un scénario de navigation transparent doit permettre à l'utilisateur de ne jamais se poser les deux questions suivantes : « Pourquoi donc y a-t-il ceci après cela ? » et « Mais où est donc passé ceci ? ». Cette interaction est dans l'idéal implicite : l'utilisateur n'a pas à se rendre compte qu'il y a un « scénario de navigation ». La qualité de transparence ne s'applique pas au scénario didactique.

n.2.3 L'interface

L'interface concerne la présentation des contenus et des fonctionnalités qui vont être directement perceptibles et traitées par l'utilisateur. Elle est, d'une part, la mise en œuvre des décisions de conception prises aux niveaux précédents. D'autre part, elle intègre un ensemble de données et de modalités de présentation de ces données de sorte que la perception, la compréhension et l'action de l'utilisateur soient aisées. Si ce dernier niveau est aussi important que les précédents, on peut regretter qu'il attire parfois plus l'attention. Il peut constituer une sorte de domaine de validité limité de la compétence des ergonomes (parfois définis comme des spécialistes des interfaces ou des spécialistes de l'utilisabilité). En effet, en conception, chaque niveau n est au service du niveau $n-1$ (l'interface est au service du scénario de navigation, qui est au service du scénario didactique, qui est au service des contenus, qui sont au service de la construction de connaissances par l'utilisateur). De sorte qu'en améliorant l'interface, voire l'utilisabilité d'une application, on ne garantit absolument pas la réussite des niveaux inférieurs, on ne garantit pas l'utilité de l'application, on ne garantit aucun apprentissage. L'ergonomie et l'ingénierie cognitive ont donc pour objet l'ensemble des aspects de la conception et de l'utilisation, dans le domaine des apprentissages comme ailleurs.

Dans la partie suivante, nous allons passer en revue les trois grands types de méthodes qui permettent de mettre en œuvre la conception. Outre les méthodes de conception elles-mêmes, nous traitons des méthodes d'évaluation des IHM (le versant utilisabilité) et des méthodes d'évaluation des apprentissages (le versant utilité).

13.3. Méthodologies utilisées pour traiter le problème

n.3.1 Les méthodes de conception et leur rationalisation

n.3.1.1. Méthodes de conception dans le domaine des EAI

Une des premières réponses aux problèmes de conception est l'adoption d'une méthode de conception, de rationalisation de la démarche de conception. Une méthode est censée permettre d'optimiser la démarche en termes financiers, de temps, de main d'œuvre, etc. Elle doit surtout servir à mieux prendre en compte le but recherché, notamment en termes :

- d'utilité : dans notre domaine, se donner les moyens de faire réellement apprendre ce que l'on veut faire apprendre ;
- d'utilisabilité : se donner les moyens de faire un produit utilisable par les apprenants ;

- d'acceptabilité : se donner les moyens de faire un produit compatible avec les pratiques, les contraintes, les objectifs de la situation d'enseignement de référence.

Dans le domaine des apprentissages, bon nombre de méthodes sont issues de la tradition de l'Enseignement Intelligemment Assisté par Ordinateur (EIAO) ou des Tuteurs Intelligents (TI), deux courants de l'Intelligence Artificielle appliqués à l'enseignement (voir par exemple [BAL 94]). Ces méthodes abordent la partie « scénario didactique » de façon particulièrement approfondie. Le scénario intègre deux modules : l'apprenant et l'enseignant (ou « tuteur »). Le module « apprenant » a pour fonction l'interprétation des réponses de l'utilisateur aux questions ou problèmes posés par le système (*e.g.* [PY 98]). Ces questions peuvent être ouvertes, les réponses de l'utilisateur demandent donc un effort particulièrement important d'analyse. Le module « enseignant » dirige l'interaction, à partir d'un scénario et des interprétations du module « apprenant » : il propose une progression, mais aussi des corrections, des explications, des exemples, des re-médiations. Ces méthodes, très nombreuses et très précises, ont donné lieu à de jolies réussites interdisciplinaires dans les laboratoires [AND 90]. Pourtant, sans doute à cause de leur exigence, elles ne correspondent pas encore à une catégorie de produits commerciaux rentables. En effet, concevoir un EIAO ou un TI prend énormément de temps et se heurte aux limites de l'interprétation d'un message verbal humain par une machine. On considère souvent aujourd'hui que l'interaction doit être dirigée par l'utilisateur à partir d'un nombre de choix limités imposés par un scénario statique (il n'y a pas d'interprétation, seulement des choix). Des méthodes intermédiaires, comme celle de Nykänen et Ala-Rantala [NYK 99], intègrent maintenant la tradition de rigueur de l'EIAO et des conceptions plus récentes en termes d'interaction et d'interface.

n.3.1.2. *Intérêt et limites des méthodes*

Quelle que soit son orientation théorique, une méthode de conception décrit un certain nombre d'étapes de la conception, des tâches à réaliser à chaque étape, ainsi que des relations entre étapes et entre tâches. Parfois, la méthode intègre des prescriptions, des solutions de conception, des conseils, etc. On trouve même dans la littérature des « règles d'or », sortes de listes de conseils de tous ordres donnés sans méthode (*e.g.* [LAN 90]). Un point critique nous semble concerner les relations entre étapes et entre tâches, relations qui peuvent être, entre autres, linéaires ou opportunistes. Dans une démarche linéaire, toute étape n ne peut être abordée que si et seulement si l'étape $n-1$ est achevée. Les tâches à réaliser à chaque étape peuvent elles aussi être ordonnées de la sorte. L'évaluation est la dernière étape de la conception, elle peut donner lieu à un retour vers les étapes n_1 , n_2 , etc. Une démarche opportuniste, au contraire, ne définit pas d'ordre entre les étapes ni entre les tâches, l'évaluation elle-même étant un travail conduit au long cours avec un rôle de *feed back* permanent (voir [NAN 98] pour plus de détails sur cette distinction).

Depuis quelques années, à l'image d'un courant de fond en ingénierie cognitive, des méthodes de « conception participative » d'EAI intègrent le point de vue des utilisateurs, qu'ils soient apprenants ou enseignants (*e.g.* [SRA 97]).

La pratique qui consiste à suivre des principes, des étapes, voire des solutions de conception, n'est pas spécifique au domaine des applications pour l'apprentissage. Dans ce domaine, il nous semble même que cette pratique soit peu répandue. Nous avons souvent observé des équipes travaillant sans méthode explicite. Est-ce dû à une méconnaissance de ces méthodes par les équipes ? Est-ce dû à l'aspect contraignant de ces méthodes ? Nous n'en savons rien, mais il nous semble qu'une méthode serait sans doute utile si elle aidait le concepteur à identifier les situations d'apprentissages en jeux et à faciliter la mobilisation chez l'apprenant des activités cognitives impliquées par l'apprentissage. Nous indiquons ci-dessous deux pistes.

n.3.1.3. *Vers une catégorisation des situations et des objectifs d'apprentissage*

Une aide conséquente nous semble apportée par la catégorisation de Elshout-Mohr et ses collègues [ELS 99], qui aide à spécifier la situation d'apprentissage en fonction des buts d'apprentissage envisagés (tableau 1). Cette catégorisation est fondée sur la distinction entre :

- les savoirs et les savoir-faire : les savoirs sont des connaissances déclaratives, verbalisables par les sujets, les savoir-faire sont des connaissances procédurales, mobilisables dans l'action ;
- la cognition et la métacognition : la métacognition est la cognition sur la cognition, elle est surtout mise en œuvre à travers les activités de planification, de contrôle et de régulation ;
- les transferts importants des transferts directs : un transfert direct s'applique d'une situation d'apprentissage vers une situation analogue, très proche ; un transfert est important quand les deux situations sont très sensiblement différentes ;
- la reproduction et la production : en situation de reproduction on demande à l'apprenant de « refaire », en respectant les traits de surface de la situation d'apprentissage ; en situation de production, on demande à l'apprenant de « faire » quelque chose, qui n'a pas forcément grand chose à voir avec la situation d'apprentissage.

Cette catégorisation assez précise permet de réutiliser la littérature de la psychologie des apprentissages pour concevoir des environnements d'apprentissage, notamment par l'intermédiaire d'un ordinateur. Chaque objectif et chaque situation d'apprentissage ont en effet été l'objet de travaux empiriques et ont permis de produire des résultats.

Situation d'apprentissage	Objectif d'apprentissage
Apprendre « par cœur » : des faits, des savoirs encyclopédiques, par un traitement attentif.	Utilisation des savoirs acquis en situation de reproduction.
Construire des savoirs conceptuels par un traitement profond.	Utilisation des savoirs acquis en situation de production.
Construire des savoirs d'un plus haut niveau en alternant décontextualisation et recontextualisation.	Utilisation des savoirs acquis en situation de production, ou qui implique un transfert important
Développer des routines autonomes en s'exerçant	Utilisation des routines acquises en situation de reproduction.
Acquérir des savoir-faire cognitifs par une pratique systématique	Utilisation des savoir-faire acquis en situation de production.
Développer de l'expertise par le contact avec des experts	Utilisation des savoir-faire acquis en situation de production, ou qui implique un transfert important
Acquérir des savoirs métacognitifs par la réflexion	Utilisation des savoirs métacognitifs acquis en situation de production, ou qui implique un transfert important
Acquérir des savoir-faire d'auto régulation par l'auto évaluation	Utilisation des savoir-faire métacognitifs acquis en situation de production, ou qui implique un transfert important

Tableau 1. Situations et objectifs d'apprentissage [ELS 99]

n.3.1.4. Vers une prise en compte des processus d'apprentissage ?

Tricot, Pierre-Demarcy et El Boussarghini [TPB 98] proposent d'envisager que l'activité d'apprentissage mobilise généralement, et à des degrés divers, la compréhension (*i.e.* l'élaboration d'une représentation mentale d'un contenu, d'une situation), la répétition (*i.e.* la réutilisation d'une connaissance déclarative ou procédurale déjà acquise) et l'exploration (*i.e.* la production d'hypothèses, le tâtonnement, l'exploration de l'espace problème, etc.). Pour eux, la conception d'un EAI doit passer par la description de la mobilisation de ces trois activités en fonction de la tâche d'apprentissage proposée à l'apprenant, puis par la conception de dispositifs permettant la mise en œuvre de ces activités. A partir d'une analyse de la littérature empirique en psychologie cognitive, ils recommandent trois types d'aides.

Les aides à la compréhension : Adapter le vocabulaire utilisé aux apprenants ; Définir les mots difficiles ; Adapter les structures syntaxiques aux apprenants ; Relier les arguments entre eux selon des schémas que connaissent les sujets ; Fournir un dispositif de sélection ou de hiérarchisation de l'information en fonction de réponses à un questionnaire d'entrée ; Proposer des représentations graphiques des situations décrites ; Permettre, avec le dispositif d'intégration texte/graphique, une gestion aisée du traitement de la co-référence texte/image ; Fournir un feedback

sur l'acquisition des connaissances ; Permettre une prise en compte de différents types d'objectifs des apprenants ; Permettre une sélection des informations et/ou une structuration de celles-ci en fonction de l'objectif.

Les aides à la répétition : Fournir une aide à la compréhension de la consigne (visualisation de la situation, définition de mots, etc.) ; Fournir un feedback sur l'interprétation et les contraintes qui pèsent sur les procédures de résolution ; Mettre en exergue les propriétés critiques de la situation ; Proposer des situations analogues ; Fournir une analyse du résultat, notamment de l'erreur.

Les aides à l'exploration : Aider le sujet dans son élaboration d'une représentation opérationnelle du but ; Aider le sujet à faire évoluer cette représentation ; Aider le sujet à maintenir cette représentation stable ; Fournir un feedback à toutes les étapes (informations explicites en terme d'écart au but, de buts négatifs à éviter, de sous-buts, d'hypothèses alternatives...) ; Identifier clairement les catégories d'informations ; Fournir des marqueurs de pertinence de ces catégories.

Les travaux de Laurillard et ses collègues du projet MENO [LAU 98] aboutissent à des recommandations pour la conception particulièrement intéressantes.

Activités d'apprentissage	Capacité suggestive d'action
Clarifier l'objectif général	Affichage du but
Décider de sous-buts	Choix d'options
Décider d'une action	Menu d'activités
Interpréter le feedback	Données multimédia
Réviser ses actions	Présentation de la réponse
Interpréter le feedback révisé	Données multimédia
Confronter aux sous-buts	Maintien de l'affichage du but (pense-bête)
Formuler la réponse	Éditeur, bloc note, carnet
Affiner la réponse	Présentation de la réponse

Tableau 2. *Activités d'apprentissage et affordances correspondantes* [LAU98]

La démarche proposée consiste à décrire les principales « étapes » ou « activités cognitives » d'une démarche d'apprentissage et à proposer, pour chaque étape, le type d'*affordance* (concept défini par Boy dans l'introduction de ce volume) à concevoir (tableau 2).

Si les méthodes de conception d'environnements d'apprentissage sont finalement assez peu nombreuses, assez peu connues ou utilisées, les méthodes d'évaluation sont au contraire très diffusées et font l'objet de vifs débats.

n.3.2 Les méthodes d'évaluation des IHM

Les critères d'utilisabilité de Nielsen [NIE 94] que Boy rappelle dans le chapitre introductif de ce volume, sont sans doute les critères d'évaluation des IHM les plus connus. Une littérature foisonnante est consacrée à la discussion de ces critères, à l'ajout de critères nouveaux, à la modification de certains. Nielsen participe lui-même régulièrement à ces débats (voir <http://www.useit.com>).

Les critères ergonomiques de Scapin et Bastien [SCA 97] constituent une autre approche de l'évaluation des IHM, à la fois plus précise et plus large que celle de Nielsen. Dans une étude récente [BAS 99] les auteurs ont comparé leur méthode avec la norme ISO/DIS 9241-10. Ils montrent que leur méthode, si elle est plus longue à appliquer, permet d'identifier plus de problèmes d'utilisabilité.

Ces méthodes d'évaluation des IHM, fondées sur l'application de critères, ne sont pas spécifiques au domaine des apprentissages, mais utilisables quand on sait bien définir leur domaine d'application. Il n'est pas le lieu d'en discuter davantage.

Une seconde catégorie de méthodes consiste à analyser les protocoles d'interaction à l'aide de critères issus des sciences de l'information, du domaine des bases de données en particulier. Le principe de ces méthodes est de mesurer l'efficacité de l'interaction en fonction du but poursuivi par l'utilisateur. On peut mesurer l'efficacité plutôt que l'efficacités, en pondérant les mesures par le temps passé à la réalisation de la tâche. Par exemple, Chen et Rada [CHE 96] ont conduit une méta analyse de la littérature empirique sur l'interaction utilisateur / système hypertexte en distinguant les mesures d'efficacité des mesures d'efficacités. Pour effectuer ces types de mesure, il suffit de traduire le but recherché par l'utilisateur en « cibles » : il faut identifier quels items sont pertinents dans le système par rapport au but recherché par l'utilisateur. Les principales mesures sont :

- le taux de rappel = nombre de cibles atteintes / nombre de cibles existantes ;
- le taux de précision = nombre de cibles atteintes / nombre d'items ouverts ;
- l'économie = 1 – (nombre d'items différents ouverts / nombre total d'items ouverts).

Ces critères importés sont intéressants, mais leur interprétation pose problème. Une polémique a eu lieu à ce sujet [ROU 90 ; BER 92 ; BER 93], certains pensant, qu'un parcours non économique correspond à des difficultés rencontrées par l'utilisateur, tandis que d'autres pensent au contraire qu'un parcours non économique peut correspondre à une utilisation intéressée, voire approfondie, du système. Dans une recherche expérimentale [TRC 95] nous avons montré que le critère d'économie peut être corrélé parfois positivement, parfois négativement, à la réussite d'une tâche. Un groupe de sujets à qui on proposait de résoudre une série de problèmes complexes (impliquant le traitement de nombreuses informations) avait une allure paradoxale : les sujets aux parcours les moins économiques trouvaient

plus de solutions correctes aux problèmes posés que les sujets les plus économiques. Le lecteur pourra se rapporter à la synthèse que nous avons publiée à propos du domaine de validité de ces critères [TRI 99].

Puisque la mesure de l'efficacité ou de l'efficience des parcours implique une connaissance précise de la signification de l'efficacité des parcours (connaissance que nous n'avons pas), on peut vouloir simplement décrire les parcours en fonction de questions que l'on se pose. Dans une des recherches mentionnées ci-dessus [TRC 95], nous nous sommes demandés quelles relations les utilisateurs établissent entre les contenus et les fonctionnalités d'accès à ces contenus (les menus). Nous nous sommes aussi demandés comment les sujets passent d'un domaine de contenu à l'autre, la tâche prescrite impliquant ces passages. Nous avons donc distingué les nœuds de contenu et les nœuds de menu. Les nœuds de menu donnent des informations sur les relations entre les nœuds de contenus, à un niveau global (organisation générale du système) ou local (relation entre deux nœuds). Les nœuds de contenu peuvent faire partie d'un même thème ou non (il n'y a aucune restriction concernant l'ajout de catégories de nœuds différentes). Nous notons :

- α_i un nœud de menu
- a_i, a_j deux nœuds de contenu d'un même thème
- a_i, b_i deux nœuds de contenu de thèmes différents

Dans notre notation, il y a donc quatre types de déplacements possibles entre deux nœuds. Chacun des quatre déplacements possibles s'écrit dans les deux sens :

- $(a\ b) = - (b\ a)$:
- L (largeur) = $a_i\ b_i$
- O (orientation) = $\alpha_i\ \alpha_j$
- S (surface) = $\alpha_i\ a_i$
- T (thème) = $a_i\ a_j$

Nous définissons une séquence $[x\ y(n)]$ comme une suite de déplacements $(x\ y)$ comprenant n éléments. Par exemple, $[\alpha_i\ a_i\ \alpha_j\ a_j]$ s'écrit $[\alpha\ a\ (4)]$ soit [S4]

Règle : si deux écritures d'une même séquence sont possibles, alors choisir celle où (n) est le plus grand.

Ce formalisme nous a par exemple permis de montrer que lors de la phase de découverte d'un nouvel EAI complexe, les utilisateurs ont tendance à faire des parcours de type S (une alternance de consultation de nœuds de menu et de nœuds de contenu), et non pas, comme on aurait pu s'y attendre, d'abord des parcours O (l'utilisateur apprend à se servir de l'outils) puis des parcours L ou T (l'utilisateur se sert de l'outil : il traite des contenus).

Nous allons aborder maintenant l'évaluation des apprentissages, en dépassant partiellement les environnements informatiques.

n.3.3 Les méthodes d'évaluation des apprentissages

Les méthodes d'évaluation des apprentissages constituent un champ très important d'activités, commun à plusieurs disciplines : psychologie, didactiques, éducation, formation, etc. Le principe général est assez simple : prescrire une tâche en rapport avec l'apprentissage visé pour évaluer l'état des connaissances du sujet, lui faire apprendre ce que l'on veut lui faire apprendre, lui prescrire une seconde tâche, analogue à la première. S'il y a une différence positive de performance entre les deux tâches, alors on considère que le sujet a appris quelque chose. On prend généralement la précaution d'utiliser un groupe contrôle de sujets qui font « exactement la même chose », sauf ce qui est évalué. Donc, dans le cas où l'on veut évaluer l'efficacité d'un EAI, le protocole expérimental consiste à faire apprendre quelque chose par le biais de l'EAI au premier groupe et à faire apprendre la même chose sans l'EAI au second groupe. Si l'on veut que cette évaluation ait un peu de sens, on prend la précaution de présenter au second groupe les mêmes contenus, la même démarche, le même temps, le même environnement, la même consigne, etc. L'évaluation initiale des connaissances du sujet peut poser un certain nombre de problèmes (effet d'attente, anticipation, reconnaissance de l'évaluation *a posteriori*, etc.) qui peuvent biaiser les résultats. On renonce donc parfois à évaluer l'état initial des connaissances, en étant particulièrement vigilant sur le recrutement des deux groupes, pour pouvoir les considérer comme équivalents.

Dans une publication récente, Rouet et Passerault [ROU 99] ont présenté et discuté les principales variables importées de la psychologie cognitive vers l'analyse des apprentissages dans les environnements informatisés. Ils abordent en particulier le problème du « grain » de l'évaluation (*i.e.* le degré de précision optimal de la mesure en fonction du but d'évaluation recherché). Nous renvoyons le lecteur à cet article et au volume dont il est issu [RDS 99] pour des informations plus complètes sur ce sujet. Nous présentons ici les principales catégories de tâches utilisées en évaluation des apprentissages.

Les tâches de reconnaissance : il s'agit de demander au sujet si un élément (un mot, une phrase, une image, etc.) était présent ou pas dans le matériel présenté lors de la phase d'apprentissage. Ce type de tâche s'utilise généralement sans évaluation préalable. On peut faire varier le degré de ressemblance entre l'item proposé et le matériel traité lors de l'apprentissage. Par exemple, dans les tâches de reconnaissance de phrases, il est devenu assez commun depuis une publication de Kintsch et ses collaborateurs [KIN 90] de proposer des phrases identiques aux phrases présentées, des phrases différentes, mais aussi des paraphrases et des propositions absentes du matériel présenté mais « inférables » à partir de celui-ci.

Ces tâches sont faciles à traiter, mais leur domaine de pertinence est restreint aux apprentissages fondés sur la compréhension littérale et intégrale d'un contenu défini.

Les tâches de rappel du contenu : on demande au sujet de dire, d'écrire, de dessiner, ..., ce qu'il a retenu du matériel présenté. Ces tâches de rappel peuvent être indicées, c'est-à-dire que l'on peut proposer au sujet des mots, des phrases, des images, ... *i.e.* des indices pour « lancer » sa mémoire. Bien que limitées elles aussi au domaine de la compréhension, ces tâches sont souvent plus intéressantes, car elles fournissent des données sur les relations entre les connaissances construites par le sujet. Il est souvent très intéressant de comparer ce matériel à celui produit par le sujet en production (libre ou indicée) lors d'une évaluation préalable de ses connaissances dans le domaine de contenu abordé. Le matériel verbal ou imagé produit par le sujet est, en revanche, souvent très délicat à interpréter. Les techniques comme l'analyse propositionnelle sont restreintes aux petits corpus verbaux (quelques centaines de mots). Des techniques récentes comme l'indexage sémantique latent [LAN 97] permettent d'envisager de façon assez intéressante le traitement du matériel verbal, y compris quand celui-ci est important en volume.

Les tâches de rappel de la structure : on demande au sujet non pas de rappeler le contenu, mais l'organisation de celui-ci. Le plus souvent, on propose au sujet de dessiner cette structure, pour la comparer ensuite à la structure « réelle » (celle qui était présentée). Bien que fréquemment utilisées, ces tâches n'ont qu'un intérêt indirect : on sait bien peu de choses sur les liens entre une telle structure produite par le sujet et l'utilisation ultérieure des connaissances par celui-ci.

Les questionnaires fermés ou ouverts sont fréquemment utilisés pour évaluer un apprentissage. Avec quelques précautions, ils sont particulièrement bien adaptés aux protocoles utilisant l'évaluation initiale et l'évaluation finale. Comme les tâches précédentes, les questionnaires concernent surtout les connaissances déclaratives (factuelles et, surtout pour les questionnaires ouverts, conceptuelles). On est parfois tenté d'utiliser un questionnaire pour évaluer l'acquisition d'un savoir-faire, alors qu'il y a un décalage fondamental entre l'aspect déclaratif et explicite des réponses fournies à un questionnaire et l'aspect procédural parfois implicite d'un savoir-faire. Les questionnaires fermés présentent l'avantage d'être faciles à traiter, tandis que les questionnaires ouverts, plus difficiles à traiter, permettent au sujet d'exprimer plus librement ses connaissances.

Les tâches de résolution de problème sont les plus communément utilisées pour évaluer un apprentissage. Elles présentent l'avantage de se prêter à l'évaluation de connaissances procédurales mais aussi déclaratives, aux protocoles d'évaluation initiale / finale comme aux protocoles d'évaluation finale seule. Comme beaucoup d'évaluations de connaissances, elles sont limitées aux diagnostics positifs : si un sujet résout un problème qui implique l'utilisation de la connaissance A alors on peut conclure qu'il sait utiliser la connaissance A ; si, en revanche, il ne résout pas

ce problème, on ne peut rien conclure sur sa connaissance A (ou sa non connaissance A).

Les tâches de détection d'erreurs consistent à présenter un matériel (une explication, une démonstration, un schéma fonctionnel par exemple) et à demander au sujet si ce matériel est correct ou non, voire à identifier l'erreur éventuellement présente dans le matériel. Ce type de tâche présente un intérêt certain, elle est particulièrement sensible aux effets d'expertise des sujets et permet souvent de distinguer les aspects superficiels de la compréhension des aspects profonds.

Les tâches de production consistent à demander au sujet de réaliser un artefact : texte, image, objet technique, application informatique, etc. Ces tâches sont, dans l'idéal, les plus intéressantes : elles permettent d'évaluer des aspects très divers des connaissances (déclaratives, procédurales, méthodologiques, etc.). Ces tâches sont aussi les plus difficiles à évaluer. Elles présentent entre autre la particularité d'imposer au sujet un travail important d'élaboration d'un but opérationnel (voilà ce que je vais faire) et de planification (voilà comment je vais faire). Si bien qu'il est difficile d'évaluer si tel aspect du produit final est la traduction de la mobilisation de telle ou telle connaissance, à telle ou telle étape de l'activité.

En bref donc, les tâches d'évaluation des apprentissages sont nombreuses et variées, les principaux biais sont bien connus, mais elles sont restreintes aux diagnostics de réussite.

n.3.4 *Le lien entre évaluation de l'interaction et évaluation des apprentissages*

Le défi à l'heure actuelle nous semble être de pouvoir interpréter ensemble l'évaluation de l'interaction et l'évaluation des apprentissages : comme l'indique Grudin [GRU 92], un bon système est à la fois utilisable et utile. Pour évaluer un EAI, il faut donc être capable d'interpréter les liens entre les variables qui mesurent l'interaction et celles qui mesurent l'apprentissage. Nous avons récemment tenté d'aborder ce problème [TRI 00]. Notre approche consiste à envisager qu'il soit possible d'évaluer l'interaction et l'apprentissage avec des variables binaires : V_i (réussite / échec) pour l'interaction et V_a (réussite / échec) pour l'apprentissage. On peut alors décrire les fréquences f des cooccurrences des états de V_i et V_a dans une table de contingence. La somme de ces fréquences est évidemment égale à 1.

	Vi réussite (noté V_{i_1})	Vi échec (noté V_{i_0})	
Va réussite (noté V_{a_1})	$f_{V_{a_1}V_{i_1}}$	$f_{V_{a_0}V_{i_1}}$	$f_{V_{a_1}}$
Va échec (noté V_{a_0})	$f_{V_{a_1}V_{i_0}}$	$f_{V_{a_0}V_{i_0}}$	$f_{V_{a_0}}$
	$f_{V_{i_1}}$	$f_{V_{i_0}}$	

L'analyse implicative [BER 96] permet, à partir de la distribution des fréquences dans cette table de contingence, de décrire la relation logique entre ces deux variables. Voici quelques exemples d'interprétation des liens entre ces deux variables pour quelques valeurs standards des fréquences.

	V_{i1}	V_{i0}
V_{a1}	$f=1$	$f=0$
V_{a0}	$f=0$	$f=0$

EAI « parfait » : utilisable et utile
Conjonction $V_a \hat{U} V_i$

	V_{i1}	V_{i0}
V_{a1}	$f=0$	$f=0.5$
V_{a0}	$f=0.5$	$f=0$

EAI nuisible
Ou exclusif $V_i w V_a$

	V_{i1}	V_{i0}
V_{a1}	$f=0$	$f=0$
V_{a0}	$f=1$	$f=0$

EAI utilisable mais inutile
Implication $\neg V_a \hat{D} V_i$

	V_{i1}	V_{i0}
V_{a1}	$f=0.5$	$f=0$
V_{a0}	$f=0.5$	$f=0$

EAI utilisable mais moyennement utile
Indépendance V_i est vrai, " V_a

	V_{i1}	V_{i0}
V_{a1}	$f=0$	$f=0$
V_{a0}	$f=0$	$f=1$

EAI mauvais ou inadéquat
NOR (non ou) ou « ni ...ni ... » $V_a \neg V_i$

	V_{i1}	V_{i0}
V_{a1}	$f=0$	$f=0.5$
V_{a0}	$f=0$	$f=0.5$

EAI inutilisable
Indépendance V_i est faux, " V_a

	V_{i1}	V_{i0}
V_{a1}	$f=0$	$f=1$
V_{a0}	$f=0$	$f=0$

EAI paradoxal
Implication $V_a \hat{D} \neg V_i$

	V_{i1}	V_{i0}
V_{a1}	$f=0.5$	$f=0.5$
V_{a0}	$f=0$	$f=0$

EAI placebo
Indépendance V_a est vrai, " V_i

	V_{i1}	V_{i0}
V_{a1}	$f=0.5$	$f=0$
V_{a0}	$f=0$	$f=0.5$

EAI « spécifique » (nécessaire et suffisant)
Équivalence $V_a \hat{U} V_i$

	V_{i1}	V_{i0}
V_{a1}	$f=0$	$f=0$
V_{a0}	$f=0.5$	$f=0.5$

EAI inutile, bien que moyennement utilisable
Indépendance V_a est faux, " V_i

	V_{i_1}	V_{i_0}
V_{a_1}	$f=0.33$	$f=0.33$
V_{a_0}	$f=0$	$f=0.33$

EAI suffisant mais non nécessaire.

Implication $V_a \mathbf{P} V_i$

	V_{i_1}	V_{i_0}
V_{a_1}	$f=0.33$	$f=0.33$
V_{a_0}	$f=0.33$	$f=0$

EAI peu spécifique (ni nécessaire ni suffisant) Ou inclusif $V_i \mathbf{U} V_a$

	V_{i_1}	V_{i_0}
V_{a_1}	$f=0.33$	$f=0$
V_{a_0}	$f=0.33$	$f=0.33$

EAI nécessaire mais pas suffisant

Implication $V_i \mathbf{P} V_a$

	V_{i_1}	V_{i_0}
V_{a_1}	$f=0$	$f=0.33$
V_{a_0}	$f=0.33$	$f=0.33$

EAI nuisible Fonction NAND V_i / V_a : incompatibilité

n.3.5 Discussion des protocoles expérimentaux utilisés en évaluation

On a pu comprendre, dans la partie précédente, que l'auteur de ces lignes, issu de la tradition de la psychologie cognitive expérimentale, privilégie les protocoles intrusifs : on demande à un sujet de réaliser une tâche et on évalue sa ou ses performances, en contrôlant autant que faire se peut les variables présentes dans la situation. Cette approche a l'avantage d'être contrôlée, elle permet de définir assez précisément le domaine de validité et de généralité des résultats. Et c'est justement là que le bas blesse : le domaine de validité est tellement restreint, que, souvent, on ne peut pas généraliser les résultats. Et comme pour contrôler les variables de la situation on conduit l'expérience en laboratoire, les résultats obtenus n'ont que très peu de sens pour ce qui se passe sur le terrain, avec de vrais EAI et de vrais apprenants. La validité externe des résultats, leur généralisation, est entièrement soumise à leur réplication.

Une autre tradition s'est développée, à la recherche d'une validité écologique, notamment dans les didactiques des disciplines et professionnelles. Elle consiste à utiliser des protocoles non intrusifs, ou en tous cas peu intrusifs : observations, enregistrements, entretiens *a posteriori*, carnets de bord. Parfois ces protocoles sont même utilisés sans tâche prescrite. On regarde juste « ce qui se passe ». Bien entendu, ce que l'on gagne en validité externe avec ces protocoles, est perdu en validité interne. Ce vieux problème des disciplines expérimentales ne semble trouver sa solution qu'avec la recherche d'une multiplication des types de protocoles (ce qui peut devenir lourd) ou d'un optimum entre validité interne et externe (ce qui peut devenir illusoire).

Les résultats qui vont être présentés ci après sont issus de protocoles expérimentaux intrusifs, contrôlés. Leur validité interne est à peu près fiable, nous

ne rapportons que des résultats répliqués, la réplication étant garante d'une certaine validité externe.

13.4. Résultats significatifs

n.4.1 *Les contenus, leur grain et leur structure*

Le premier résultat qui vaut d'être mentionné relève de l'évidence : les contenus sont d'autant plus faciles à traiter et à comprendre qu'ils sont familiers aux apprenants. L'effet de l'expertise des sujets sur cette plus grande facilité est au départ très simple : plus un sujet est expert dans un domaine, moins le traitement d'un environnement dans ce domaine va être cognitivement coûteux pour lui. Ceci est généralement interprété ainsi : l'expertise dans un domaine de connaissance se traduit par l'acquisition de schémas dans ce domaine de connaissance ; comme la mobilisation d'un schéma en mémoire de travail (MDT) ne représente pas plus de coût que la mobilisation d'une information simple, le traitement d'une situation dans un domaine où le sujet est expert va utiliser peu de place en MDT.

Ce lien entre expertise des sujets et domaine de contenu est particulièrement sensible aux effets de redondance. Quand deux informations redondantes sont présentées à un sujet, la charge cognitive est plus importante que quand une seule de ces informations est présentée. Ce résultat a été répliqué par Sweller et ses collaborateurs (*e.g.* [KAL 98]) avec des problèmes d'apprentissages en électricité, en géométrie, etc. L'effet de la redondance est un problème assez ancien en psychologie, il précède les travaux sur la charge cognitive et il a occupé de nombreuses équipes dans des domaines assez différents (mémoire, perception, apprentissage... sur des matériels textuels, imagés et sonores). Le problème posé par l'étude de cet effet réside dans la définition de la redondance, qui ne peut pas être considérée seulement de façon intrinsèque à la situation, mais dépend largement du niveau d'expertise du sujet dans le domaine de la situation traitée : une information redondante pour des sujets connaissant le domaine de contenu (donc gênante pour eux) n'est pas redondante pour des sujets ne connaissant pas ce domaine de contenu (donc peu gênante voire facilitante pour ces derniers).

Le grain des données est un problème délicat à aborder : les textes courts sont difficiles à traiter, les textes longs sont fatigant à lire sur écran. Les travaux de Caro et Bétrancourt [CAR 98] nous conduisent à penser que, pour l'essentiel, les textes courts (moins de 100 mots) donc la fonction est secondaire (exemples, définitions, cas particuliers, etc.) ne posent pas de problèmes particuliers : ils remplissent correctement leur rôle de texte secondaire. Les textes longs doivent être évités (ou imprimés). Il est possible de transformer certains textes longs en hypertextes, en distinguant le texte principal, affiché à l'écran, des textes secondaire, activés par des liens.

Nous avons publié deux synthèses [TRI 95b ; TRR 99] sur les principaux résultats empiriques concernant la structure des contenus. En voici un résumé.

Une organisation hiérarchique (quand on la compare à un index alphabétique) permettrait aux utilisateurs de se construire une meilleure représentation de l'architecture du système, les satisferait plus, structurerait les connaissances de façon plus exacte et faciliterait la navigation. En revanche, elle paraît moins efficace quand la tâche implique des relations entre les nœuds de contenu. De plus, c'est ce type d'organisation qui entraînerait le plus d'ouvertures de nœuds non pertinents.

Une organisation linéaire entraîne de faibles performances, mais peut être améliorée : par exemple avec une table des matières et un index, ou avec un plan interactif. Des études montrent que dans certaines situations, une organisation linéaire permet de répondre rapidement et efficacement aux questions. Cependant, le nombre de mots lus est plus important qu'avec un même texte organisé en réseau hypertextuel. Cette organisation semble particulièrement bien adaptée à une première utilisation. Une étude montre que les utilisateurs préféreraient le linéaire mais comprendraient mieux avec le hiérarchique.

Les organisations de type réseau, véritablement hypertextuelles, produisent des résultats divergents. Pour des questions nécessitant de faire des liens entre plusieurs nœuds, l'utilisation de ce type d'organisation s'est révélée plus rapide dans l'étude de Wright et Lickorish [WRI 90], mais pas dans celle de Mohageg [MOH 92]. Par ailleurs, l'organisation en réseau favoriserait le phénomène de *looping* (le fait de repasser plus de trois fois par le même nœud), et serait spécifiquement inadéquate aux utilisateurs novices du système ou du domaine de connaissances. Ainsi, un véritable hypertexte est difficile mais des améliorations sont possibles, dans la définition même des mots-clés ou dans l'élaboration de bons mécanismes d'interrogation. Enfin, nous avons montré que [TRI 95a], dans une tâche de compréhension de l'ensemble du corpus de connaissances (tâche d'exploration exhaustive), on pouvait définir des limites à la structure du réseau au-delà desquelles la baisse de compréhension est significative. Ces limites sont de l'ordre de 4 pour le niveau de largeur (la largeur est définie par le nombre de liens qui partent d'un nœud) et de 4 pour le niveau de profondeur (la profondeur est le nombre de nœuds que l'on peut ouvrir « à la suite » sans retour en arrière).

n.4.2 *Le scénario de navigation*

Un grand principe de conception du scénario de navigation a été proposé par Bernstein [BER 93] : le scénario de navigation doit refléter le type d'usage envisagé. Cet auteur a proposé de distinguer « l'*information mining* qui conçoit qu'une information pertinente est une ressource de valeur qui doit être extraite efficacement et raffinée (...) ; l'*information manufacturing* qui conçoit l'acquisition, le

raffinement, l'assemblage et la maintenance d'information comme une entreprise continue (...); l'*information farming* qui conçoit la « culture » de l'information comme une activité continue et collaborative conduite par des groupes de personnes travaillant ensemble à la réalisation de but changeant, individuels et communs » (p.242, notre traduction). La première activité correspond aux systèmes de recherche d'informations, la deuxième aux EAI (par exemple) et la troisième à la tradition « romantique » des hypertextes (Engelbart, Nelson) qui est parfois visible aujourd'hui sur le Web. Bernstein fait très justement remarquer que les critères d'évaluation (nous pourrions rajouter les principes de conception) de ces trois activités sont radicalement différents, et qu'à partir du moment où l'on veut avoir une activité dans un système qui n'est pas prévu à cet effet, la démarche est vouée à l'échec.

Depuis la publication de Bernstein, la littérature empirique sur les effets de caractéristiques, fonctions ou contraintes du scénario de navigation sur l'activité des utilisateurs devient conséquente. On peut, d'après ces résultats empiriques, formuler une sorte de principe : « le scénario de navigation doit être adaptée aux différents formats de connaissances mobilisées lors des différentes phases d'utilisation d'un EAI ». Tricot et Bastien [TRI 96] par exemple, développent cet argument en s'inspirant des réflexions d'Inhelder et Cellérier [INH 92]. Pour eux, l'apprentissage se définit largement comme une contextualisation de connaissances. Dès que l'on sort du cadre scolaire pour s'intéresser aux adultes (*e.g.* [MYL 88; NOR 92]), on observe que l'abstraction et la généralisation sont quasiment des particularités des apprentissages scolaires. Les connaissances utilisées par les adultes en situation professionnelle sont largement contextuelles, fonctionnelles et concrètes.. Cette contextualisation passe par des phases d'exploration et de compréhension d'un corpus de connaissances, ainsi que par la fonctionnalisation de connaissances lors d'exercices. Pour ces auteurs (voir aussi [BAS 97]), la difficulté de la conception d'EAI réside dans la différence des formats de connaissances, selon qu'il s'agit d'un corpus de connaissances à explorer (connaissances rationnellement organisées), à transformer (exercices) ou à réutiliser en situation (connaissances fonctionnelles).

On a pu évaluer l'efficacité et les limites des différents outils d'interaction (fonctionnalités) : index, table des matières, boutons plein textes, tourne pages, bookmarks, web views, cartes, fish eyes views, etc. [DEE 96; HOL, 92; REA, 94; TRI 93]. Quelques résultats ont été répliqués, dont les deux suivants.

Certaines fonctionnalités ont une efficacité spécifique à telle ou telle tâche : par exemple, un index est efficace pour une recherche d'information où la cible est précise et connue de l'utilisateur, et permet en général une plus grande exhaustivité dans la consultation.

L'ajout de fonctionnalités a un effet de surcharge cognitive. Dans une série de recherches expérimentales, Wright et Lickorish ont bien illustré ce paradoxe (déjà mentionné par Boy dans l'introduction de ce volume, à propos des résultats de

Eason) : quand on propose trop d'outils pour l'aide à la navigation et à la recherche d'informations, on gêne l'utilisateur plus qu'on ne l'aide [WRI 91 ; WRL 90 ; WRL 94]. Selon ces auteurs, deux raisons expliquent ce constat :

- l'ajout de fonctionnalités surcharge l'écran, rendant impossible la perception de toutes les fonctionnalités, notamment en début de consultation du système ;
- l'ajout de fonctionnalités surcharge l'apprentissage, car l'utilisateur doit découvrir et apprendre le fonctionnement de chacune de ces fonctionnalités.

Dans le domaine des apprentissages, l'aspect du scénario de navigation le plus étudié est certainement la « carte de contenus ». Cette fonctionnalité, qui permet de représenter la structure générale des contenus et donne accès à ces contenus, semble en effet très intéressante, notamment pour les tâches qui impliquent la compréhension d'un ensemble structuré de contenus. Pourtant, de nombreux résultats empiriques montrent que la carte de contenus peut avoir un effet négatif, notamment quand on la compare à une simple table des matières (*e.g.* [OOS 98]). Stanton, qui a publié de nombreux résultats dans ce sens, interprète cet effet limité comme étant dû à une pauvreté de la conception (*e.g.* [STA 00]) : pour cet auteur, dans bien des cas, la carte de contenus masque l'absence de conception d'un véritable scénario didactique.

n.4.3 *Le scénario didactique*

La littérature empirique sur des comparaisons entre EAI proposant des scénarios didactiques différentes est très limitée ou inconnue de nous. Pourtant, hors du champ de l'EAI de nombreux résultats ont été publiés. Par exemple, Tuovinen et Sweller [TUO 99] ont comparé les performances de deux groupes d'étudiants qui doivent apprendre à concevoir une base de données. Le premier groupe suit un scénario d'« apprentissage par la découverte » tandis que le second groupe suit un scénario d'apprentissage plus classique de type « Cours + Exercices corrigés + Exercices ». Les étudiants du premier groupe doivent résoudre par eux-mêmes les problèmes, essentiellement pratiques, qu'ils se posent eux-mêmes, tandis que ceux du second groupe suivent un programme pré-établi de cours et d'étude de problèmes déjà résolus. Les résultats montrent que le premier groupe a des résultats moins bons que le second. Ce résultat ne concerne évidemment que cette tâche.

Le manque de résultats empiriques dans le domaine des scénarios didactiques en EAI ne doit pas occulter que des résultats sont disponibles dans un domaine très proche : celui des effets de la structure rhétorique sur le traitement des documents. Ce type de résultat a été remarquablement mis en évidence par Dillon [DIL 91], qui a par la suite publié une synthèse sur cette question [DIL 96]. Selon Dillon, lorsque le lecteur - utilisateur interagit avec une structure rhétorique connue, il peut localiser les informations recherchées. Par exemple, dans un article scientifique, le lecteur sait

qu'il va trouver l'hypothèse principale de l'auteur dans l'introduction : on peut très bien modifier la structure de l'article et mettre l'introduction à la fin, ou en faire un hypertexte non-hiérarchique, de toutes façons il sait que s'il veut trouver l'hypothèse principale de l'auteur il faut qu'il cherche dans l'introduction. A l'opposé, un lecteur non-habitué aux articles scientifiques ne cherchera pas nécessairement l'hypothèse principale dans l'introduction, que la structure de l'article scientifique soit respectée ou non. L'équipe de Perfetti à Pittsburgh (*e.g.* [BRI 96]) a montré que l'on retrouvait cet effet dans des ensembles de textes multi-sources (par exemple un ensemble de textes en rapport avec une controverse historique) : il y aurait un traitement de la structure argumentative à partir du moment où dans un ensemble de textes le lecteur sait identifier la nature / le rôle de chaque texte dans l'ensemble.

Les recherches de Dillon et celles de l'équipe de Pittsburgh ont donc permis d'envisager clairement deux niveaux dans l'interaction : le scénario de navigation, c'est-à-dire l'ensemble des choix ou des manipulations possibles dans le système à un moment donné ; la rhétorique, qui concerne l'organisation sémantique du contenu et qui définit la possibilité d'accéder à des connaissances selon des objectifs, qui sont d'autant mieux atteints que l'utilisateur est familier de la structure rhétorique du document. C'est ce second niveau que, dans le contexte de l'EAI, nous avons choisi d'appeler scénario didactique.

On peut donc regretter le manque de résultats empiriques. Mais on peut aussi envisager que ces résultats empiriques risquent d'être difficiles à obtenir, pour une raison fondamentale : ils seront nécessairement relatifs aux types d'apprentissages envisagés. Tel scénario didactique n'est pas meilleur ou moins bon qu'un autre : son efficacité est strictement dépendante du format et du contenu de la connaissance à transmettre. Or, dans le domaine des EAI, de nombreux auteurs pensent que les développements intéressants concernent des formats et des contenus de connaissances que l'on a des difficultés à transmettre sans EAI. La comparaison deviendrait encore plus difficile ou vide de sens. Par exemple, Spiro et Jehng [SPI 90] ont proposé une approche où le scénario consiste en un « paysage conceptuel entrecroisé » : les apprenants peuvent revisiter le même contenu selon des perspectives conceptuelles différentes en empruntant des itinéraires différents mais reliés. Les auteurs suggèrent qu'un tel EAI permettrait le développement de liens associatifs non linéaires entre des contenus qui rendent cette approche d'entrecroisement explicite [SWA 94]. Jacobson et Spiro [JAC 95] montrent que cette approche améliore le transfert de connaissances plutôt que l'acquisition de connaissances nouvelles. Ils proposent un scénario didactique où ils montrent explicitement des relations entre les composantes abstraites et les composantes particulières de la connaissance à transmettre, dans divers contextes. Pour eux, ce type de scénario aidera à préparer des apprenants à utiliser la connaissance de manière nouvelle dans de nouvelles situations.

En bref donc, les résultats dans ce domaine manquent, mais en obtenir risque d'être long et difficile. Du côté de l'interface, au contraire, de nombreux résultats

empiriques sont disponibles à propos des effets des formats de présentation sur la compréhension ou la mémorisation. Nous allons maintenant rendre compte de quelques uns de ces résultats.

n.4.4 Formats de présentation

Des recherches de plus en plus nombreuses sont consacrées aux effets de l'utilisation simultanée de différents médias (textes, images fixes, images animées, sons) sur les apprentissages (voir le numéro spécial coordonné par Jamet [JAM 98]), notamment dans des EAI.

n.4.4.1. Illustrer le texte par des images

Merlet [MER 98] a établi une synthèse des différents travaux consacrés au rôle des illustrations. Elle souligne que de nombreuses recherches ont mis en évidence les effets facilitateurs des images adjointes à un texte sur la compréhension et la mémorisation de celui-ci. La motivation principale de beaucoup de ces études est de déterminer le rôle des illustrations sur l'acquisition de connaissances et/ou la résolution de problèmes. Les textes manipulés sont le plus souvent présentés par écrit et la méthodologie la plus courante consiste à comparer deux modes de présentation du matériel (texte seul vs. texte illustré) quant aux performances à des tâches d'apprentissage. L'effet obtenu est très robuste : les textes illustrés sont mieux compris que les textes seuls.

Ces travaux mettent en effet en jeu des sujets d'âges différents, en particulier des enfants et des adultes, des textes narratifs, expositifs ou encore instructionnels présentés oralement ou par écrit, différents types d'illustrations remplissant différentes fonctions ainsi qu'une grande variété de procédures d'évaluation. Ainsi, le rôle bénéfique des illustrations sur la mémorisation et la compréhension de textes, tel qu'il a pu être évalué dans un grand nombre de recherches, apparaît difficilement contestable. Cependant, les mécanismes et les processus à l'origine de ces effets n'apparaissent pas toujours évidents, dans la mesure où ces études demeurent souvent à un niveau largement descriptif.

Pour Merlet, c'est pour cela que, depuis une dizaine d'années, les recherches prennent une nouvelle orientation : on s'attache désormais, non pas simplement à mettre en évidence l'effet facilitateur des illustrations sur la compréhension, mais à comprendre les mécanismes cognitifs responsables de ces effets et à élaborer un cadre théorique précis susceptible de rendre compte aussi bien des effets bénéfiques de l'illustration, que de son absence d'effet voire de ses effets néfastes (voir en particulier les travaux conduits actuellement au laboratoire de psychologie expérimentale de l'Université Paris V par Gyselinck et ses collaborateurs [GYS 96 ; GYS 99 ; GYS 00]).

n.4.4.2. *Intégrer le texte dans l'image*

Une recherche célèbre de Sweller et ses collaborateurs [SWE 90], montre que l'intégration de textes (commentaires, formules, définitions) dans une image (figure géométrique par exemple) facilite la compréhension de celle-ci. Pour ces auteurs, ce phénomène s'expliquerait par une amoindrissement de l'effet de partage de l'attention. Les sujets comprennent mieux que tel paragraphe « intégré » concerne tel aspect de l'image que quand le paragraphe est « noyé » dans un texte à côté ou au dessous de l'image. Cet effet a été répliqué dans des disciplines aussi diverses que l'ingénierie électrique, la biologie, la physique, la rédaction de rapports, les mathématiques ou l'informatique par Sweller et son équipe, ainsi que par Wickens et ses collaborateurs [WIC 90; BOL, 87 ; WIC 87], qui ont énoncé un principe de « proximité de présentation ». Kalyuga, Chandler et Sweller [KAL 98] ont aussi montré qu'avec des sujets d'un bon niveau d'expertise dans un domaine donné, l'effet de partage de l'attention n'est pas éliminé ni même amoindri par les techniques d'intégration texte-image. En comparant ces sujets avec des sujets novices pour les mêmes tâches dans les deux conditions « matériel classique » et « matériel intégré », on se rend compte qu'en fait ce n'est pas tant que l'effet de partage de l'attention n'est pas éliminé avec les sujets experts en condition « matériel intégré ». C'est plutôt qu'il n'y a pas ou peu, avec ces sujets, d'effet de partage de l'attention en condition « matériel classique » (ou en tous cas pas de difficulté à traiter des sources d'information disparates).

Les recherches sur l'intégration texte – image ont fortement bénéficié de la techniques des fenêtres escamotables (les *pop up windows*). Le lecteur en prend connaissance en cliquant sur un bouton ou une partie de l'image. Une petite fenêtre comprenant généralement du texte apparaît alors au premier plan. L'utilisateur peut la faire disparaître facilement et revient ainsi à sa fenêtre principale restée active. Ce dispositif facilite le traitement cognitif d'un document texte-figure et ne perturbe pas l'apprentissage par rapport à une présentation où les deux sources d'information sont présentes en permanence sur l'écran (voir [BET 98]). De ce fait, les fenêtres escamotables peuvent être préconisées dès l'instant où texte et figure doivent être utilisés de manière complémentaire pour comprendre le document ou exécuter la tâche décrite dans le document.

n.4.4.3. *Utiliser deux modalités sensorielles plutôt qu'une*

Si l'élimination de l'effet de partage de l'attention améliore l'apprentissage en baissant la charge de la mémoire de travail, Mousavi, Low et Sweller [MOU 95] suggèrent qu'un même effet positif peut être obtenu en augmentant la taille de la mémoire de travail effective. Ces auteurs suggèrent que, pour atteindre ce type de but, il faut utiliser des présentations didactiques en mode duel, *i.e.* dans lesquelles les diverses sources d'information qui requièrent d'être intégrées sont présentées selon des modalités sensorielles différentes (auditive et visuelle). Ils ont montré qu'une figure géométrique présentée visuellement et commentée oralement améliore

l'apprentissage par rapport à une présentation conventionnelle (figure et texte présentés en mode visuel).

Sweller et ses collaborateurs ont montré que cet effet de présentation en mode duel n'existe que quand le matériel est difficile à traiter, *i.e.* quand il entraîne un coût cognitif élevé à cause d'un nombre important de points de la figure commentés par un texte. Les auteurs qualifient ce type de situation comme possédant un haut niveau d'interactivité. A l'inverse, dans les configurations à faible degré d'interactivité, il y a peu de points de la figure qui sont commentés [TIN 97].

n.4.4.4. *Représenter les niveaux d'information d'un texte*

Le double-traitement simultané d'informations générales et d'informations de détail est difficile. C'est pourquoi les fenêtres escamotables sont tellement intéressantes : c'est l'utilisateur qui choisit le moment où il veut ajouter tel ou tel média à l'écran en cours de traitement [BET 92]. La fenêtre escamotable permet de diminuer la densité de texte présent de façon permanente à l'écran en affichant, si besoin, des informations complémentaires sans quitter son environnement de travail. De nombreuses études expérimentales sur l'effet de ce dispositif sur le traitement cognitif du texte ont été répertoriées par Bétrancourt et Caro [BET 98]. Ces auteurs montrent que l'utilisation des fenêtres escamotables sur écran est bénéfique pour des informations qui seront mieux mémorisées (si elles sont consultées) : définitions, explications, exemples et non pas pour des informations indispensables à la tâche à effectuer conformément au texte. Pour les lecteurs expérimentés dans l'activité décrite par le texte, les fenêtres escamotables ne seront pas ou peu ouvertes car les lecteurs connaissent déjà les définitions et informations explicatives concernant leur activité. En revanche, les lecteurs inexpérimentés pourront consulter les fenêtres escamotables pour acquérir les connaissances nécessaires à la réalisation de la tâche. On peut aussi utiliser des fenêtres escamotables quand il est nécessaire de trouver rapidement des informations. Une fois que les utilisateurs ont appris à utiliser ce système de fenêtrage, ils sont capables d'accéder à l'information plus rapidement [CAR 95].

n.4.4.5. *Utiliser des images animées ?*

L'insertion de l'animation dans les configurations texte / image constitue un apport intéressant mais délicat à aborder dans le domaine des apprentissages. Ainsi Lowe [LOW 01] s'intéresse à l'apprentissage de la « lecture de cartes » par des étudiants en météorologie. Il a montré que si l'intégration texte / image statique présente de nombreux désavantages dans ce domaine d'apprentissage (les étudiants ne « comprennent » pas les dimensions spatiales et surtout temporelles des cartes qui leur sont présentées), l'insertion de l'animation pose aussi des problèmes : entre autres celui d'attirer l'attention sur les « effets massifs » (mouvement d'une grosse masse nuageuse par exemple) au détriment des détails ou des informations stables.

Ces résultats vont dans le sens de Mayer et ses collaborateurs [MAY 91 ; MAY 92], qui ont montré, après d'autres, que les présentations audiovisuelles simultanées sont plus efficaces que les présentations audiovisuelles séquentielles.

n.4.4.6. *Utiliser la réalité virtuelle ?*

Un dernier format de présentation, très « prometteur », consiste à utiliser les techniques de la réalité virtuelle pour représenter des objets, des concepts, des situations de travail ou de communication. De nombreux auteurs ont pensé que ces techniques pourraient permettre de concevoir des environnements d'apprentissages plus proches de la réalité que les matériels didactiques classiques (documents papiers ou électroniques essentiellement) ou représenter des objets (concepts) impossibles à représenter dans des situations dites « réelles ». Un autre argument souvent avancé considère la possibilité d'action de l'apprenant comme plus grande dans ces environnements virtuels qu'avec les documents classiques. Pourtant, il semble que peu de ces auteurs aient réussi à produire et à répliquer des résultats empiriques qui attesteraient (ou invalideraient) ces effets bénéfiques. La recherche de Antonietti et Lantoia [ANT 00] constitue une des rares exceptions. Ces auteurs ont proposé une tâche d'étude de tableaux de peintres inconnus à des étudiants, qui, pour la moitié d'entre eux, étaient « immergés » dans un musée virtuel, alors que les autres étudiaient les mêmes œuvres sur des collections de photographies. Les auteurs montrent que le format de la réalité virtuelle permet aux étudiants de se poser des questions différentes, d'essayer de comprendre le « pourquoi ? » et le « comment ? » du tableau, tandis que les étudiants du second groupe restent plus descriptifs (le « quoi ? »).

13.5. Discussion générale

Globalement les résultats concernant les EAI sont positifs, au moins en apparence : les environnements multimédias actuels utilisés dans les EAI plaisent plus, les gens croient qu'ils sont plus efficaces pour apprendre et ces supports, quand ils sont correctement conçus, sont souvent plus efficaces et plus efficaces que des environnements plus traditionnels comme les manuels scolaires, les exercices présentés sur papier, etc. [NAJ 96].

Les enseignants et les concepteurs eux-mêmes sont souvent convaincus que les EAI permettent non seulement d'améliorer des situations classiques mais aussi de créer des situations nouvelles, irréalisables précédemment. Bonham et Seifert [BON 99] par exemple, pensent que les EAI permettent de concevoir des environnements d'apprentissage moins centrés sur l'enseignant et ses buts, mais réellement centrés sur l'apprenant, ses objectifs et ses activités. Ces environnements sont de plus en plus conçus de façon coopérative entre l'enseignant et les apprenants, ces derniers devenant plus actifs et plus concernés par leur activité d'apprentissage.

Les techniques de réalité virtuelle devraient aussi permettre le développement d'environnements d'apprentissage plus riches, permettant à l'apprenant de réellement travailler et apprendre « en situation ». Ces techniques devraient favoriser le développement du courant des « apprentissages situés » [BRO 89, WIL 99]. Pour ce courant, entre les novices et les experts il y a les « simples gens », c'est-à-dire les gens qui résolvent les problèmes de la vie de tous les jours. Les novices raisonnent à partir de lois, les simples gens avec des histoires causales et les experts avec des modèles causaux. Les modèles et les histoires sont très proches, les habilités pour les mettre en œuvre sont les mêmes. Les simples gens et les experts sont engagés dans des activités qui sont situées dans des cultures dans lesquelles ils travaillent, à l'intérieur desquelles ils négocient des significations et construisent de la compréhension. Pour des auteurs comme Negroponte, les apprenants ont la chance de pouvoir devenir, avec Internet, des « simples gens », des « débrouillards » au pays de la connaissance ; alors que l'école favorise les « intellectuels » normés par les situations d'évaluation des connaissances scolaires (on lira avec intérêt les réserves d'Anderson, Reder et Simon au sujet des apprentissages situés [AND 96, AND 97]).

Les EAI permettent enfin de gérer de façon beaucoup plus efficace que les techniques précédentes l'enseignement et la formation à distance. Dans ce domaine, le saut quantitatif et qualitatif est véritablement impressionnant [PAS 00, HAR 00]. Cette avancée technologique fait émerger de nouvelles questions : Comment, dans une communication distante, est gérée l'absence de situation de face-à-face [NAV 01] ? Quel nouveau rôle pour le formateur – modérateur ? Quid du sentiment d'isolement ? Quelle coopération entre apprenants ?

Ainsi, malgré ces avancées et ces bénéfices, il faut bien convenir que les EAI ne sont pas toujours évidents à concevoir ni correctement conçus. L'effet de mode, qui est positif sur la perception et l'opinion des apprenants, semble permettre à certains concepteurs de faire vite et mal que qu'ils pourraient faire mieux en allant plus lentement, avec plus de rigueur. Nous ne sommes pas certains que la solution réside dans l'élaboration de nouvelles méthodes de conception. Dans notre domaine en effet, les méthodes proposées sont souvent en complet décalage avec les moyens (financiers, techniques, temporels et humains) dont disposent les équipes de conception. Selon nous, le problème est ailleurs. Il réside tout simplement dans la façon trop générale d'envisager la conception d'environnements d'apprentissage. La solution viendrait d'une approche de la conception plus spécifique à l'apprentissage visé. Des auteurs comme Dewhurst et ses collaborateurs [DEW 00] montrent bien que dans les situations de type « faire apprendre un cours magistral en autonomie » les résultats sont au mieux neutres et très souvent défavorables aux environnements informatisés. Pourquoi ce résultat est-il contradictoire avec d'autres résultats, eux positifs, obtenus dans d'autres situations d'apprentissages ? Simplement parce qu'il est impossible de généraliser un résultat d'une situation d'apprentissage à une autre.

Selon nous, il faudrait donc développer des méthodes spécifiques pour des apprentissages spécifiques.

Cela nous permettrait en premier lieu de comprendre pourquoi certains résultats semblent contradictoires. Cela nous permettrait aussi d'exploiter plus directement la littérature empirique en psychologie cognitive des apprentissages, où les tâches proposées aux sujets sont souvent clairement décrites (il est souvent possible de les ranger dans une catégorie d'apprentissage, si la catégorisation des situations d'apprentissage est bien conçue).

En second lieu, un approche spécifique à l'apprentissage visé permettrait d'envisager plus rationnellement la conception. A titre d'exemple, nous pouvons citer notre proposition [TPB 00] de distinguer :

- les apprentissages par l'action pour lesquels l'apprenant est censé agir pour trouver une solution à un problème dont il n'a pas la solution immédiate, mais dont il peut trouver la solution en raisonnant, par essais et erreur, etc. (e.g. faire un exercice « fermé », résoudre un problème qui n'admet qu'une solution) ;
- les apprentissages par instruction, pour lesquels l'apprenant est censé comprendre ce qui est expliqué ou décrit dans un discours oral ou écrit, ce discours pouvant être illustré ou non (e.g. cours magistral, lecture, explication) ;
- les apprentissages par exploration pour lesquels l'apprenant doit élaborer un projet, résoudre un problème de sélection d'information dans un espace documentaire ou physique et comprendre les documents sélectionnés (ou les états de l'environnement), pour élaborer une représentation synthétique du contenu ou de la situation qu'il a conçu (e.g. préparer un exposé, monter un TP).

Cette catégorisation, très sommaire, permet d'envisager la conception d'environnements différents pour ces objectifs d'apprentissage différents. Elle permet en outre d'identifier des points critiques spécifiques aux apprentissages envisagés (par exemple « se représenter l'espace problème » pour « apprentissage par l'action »), points critiques abordés dans la littérature empirique en psychologie cognitive.

En bref donc, il nous semble qu'il faille plus rechercher des moyens pour décrire les situations et les objectifs d'apprentissage que de nouvelles méthodes de conception. Ces moyens de description devraient permettre à la fois de mieux cerner le problème de conception à résoudre et d'identifier dans la littérature empirique les connaissances utiles à l'ingénierie.

13.6. Conclusion et les perspectives de recherche

Dans ce chapitre, nous avons tenté de faire un tour d'horizon des problèmes d'interaction homme machine (IHM) que posent les environnements d'apprentissage informatisés (EAI). Nous avons insisté sur le caractère cognitif de ces problèmes.

La façon de poser le problème fait l'unanimité : elle consiste à distinguer ce qui relève des contenus, de l'interaction et de l'interface. Cette unanimité n'est pas forcément le signe d'un bon état de santé du domaine. Elle peut au contraire traduire un certain essoufflement. Nous avons introduit l'idée que dans l'interaction, il fallait distinguer le scénario de navigation (où le sujet est considéré comme un utilisateur) et le scénario didactique (où le sujet est considéré comme un apprenant).

Les méthodes pour traiter ces problèmes sont surtout bien éprouvées du côté de l'évaluation, que ce soit sur le versant IHM ou sur le versant apprentissage. Nous avons montré qu'il était possible d'interpréter les liens entre ces deux types d'évaluation. Nous avons regretté que les méthodes de conception existantes correspondent peu aux pratiques des concepteurs, sans avoir pu expliquer les raisons de ce décalage.

Les résultats sont nombreux et congruent en ce qui concerne l'interface, et assez conséquents du côté des données et du scénario de navigation. Nous avons souligné l'absence de résultats empiriques en ce qui concerne le scénario didactique dans les EAI.

Finalement, nous avons argumenté contre l'élaboration de nouvelles méthodes, et, voudrions-nous rajouter, contre l'autonomisation de l'ingénierie et l'ergonomie pédagogique. Selon nous, le développement des recherches et des pratiques dans le domaine des EAI va de pair avec l'accroissement de nos compétences dans l'exploitation des connaissances de la psychologie ou de l'intelligence artificielle. Cette compétence à exploiter des connaissances issues d'autres disciplines dépend sans doute de notre capacité à décrire des tâches, c'est-à-dire des buts, des environnements et des moyens.

Remerciements : A mes collègues Valérie Frède, Isabelle Meyer, Eric Bruillard et Stéphane Caretero pour leurs remarques sur une précédente version de ce chapitre.

13.7. Références bibliographiques

[AND 90] ANDERSON J.R., BOYLE C.F., CORBETT A.T., LEWIS M.W. «Cognitive modeling and intelligent tutoring», *Artificial Intelligence*, vol. 42, 1990, p. 7-49.

- [AND 96] ANDERSON, J.R., REDER, L.M., SIMON, H.A. « Situated learning and education », *Educational Researcher*, vol. 25, n° 4, 1996, p. 5-11.
- [AND 97] ANDERSON, J.R., REDER, L.M., SIMON, H.A. « Rejoinder: situative versus cognitive perspectives: Form versus substance », *Educational Researcher*, vol. 26, n°1, 1997, p. 18-21
- [ANT 00] ANTONIETTI A., LANTOIA M., « To see a painting versus to walk in a painting : an experiment on sense-making through virtual reality », *Computers & Education*, vol. 34, 2000, p. 213-233.
- [BAL 94] BALACHEFF N., VIVET M., (Eds.), «Didactique et intelligence artificielle», *Recherches en Didactique des Mathématiques*, vol. 14, 1/2,1994.
- [BAS 97] BASTIEN C., *Les connaissances, de l'enfant à l'adulte*, Paris, Armand Colin, 1997.
- [BAS 99] BASTIEN J.M.C., SCAPIN D.L., IEULIER C. « The ergonomic criteria and the ISO/DIS 9241-10 dialogue principles : a pilot comparison in an evaluation task », *Interacting with Computers*, vol. 11, 1999, p. 299-322.
- [BER 91] BERNSTEIN M., BROWN P.J., FRISSE M., GLUSHKO R.J., LANDOW G., ZELLWEGER, P. « Structure, navigation and hypertext : the status of the navigation problem », *Hypertext'91 Proceedings*, San Antonio, 15-18 December 1991, New York, ACM Press, p. 363-366.
- [BER 92] BERNSTEIN M., JOYCE M., LEVINE D., « Contours of constructive hypertexts », in D. LUCARELLA, J. NANARD, M. NANARD, P. PAOLINI (Eds.), *Proceedings of ECHT'92 Conference*, Milano, 30 November – 4 December 1992, New York, ACM Press, p. 161-170.
- [BER 93] BERNSTEIN M., « Enactment in information farming », *Proceedings of Hypertext'93 Conference*, Seattle, 14-18 November 1993, New York, ACM Press, p. 242-249.
- [BER 96] BERNARD J.M., CHARRON C. « L'analyse implicative bayésienne, une méthode pour l'étude de dépendances orientées I : données binaires », *Mathématiques, Informatique et Sciences Humaines*, vol. 134, 1996, p. 5-38.
- [BET 92] BETRANCOURT M., « Interaction texte / figure : effet de leur disposition spatiale relative sur l'apprentissage », *Rapport de Recherche INRIA n°1781*, Grenoble, 1992.
- [BET 98] BETRANCOURT M., CARO S., « Intégrer des informations en escamots dans les textes techniques : quels effets sur les processus cognitifs ? » in A. TRICOT, J.-F. ROUET (Eds.), *Les hypermédias, approches cognitives et ergonomiques*, *Hypertextes et Hypermédias, numéro hors série*, 1998, p. 157-174.
- [BOL 87] BOLES D.B., WICKENS C.D., « Display formatting in information integration and non integration tasks », *Human Factors*, vol. 29, 1987, p. 395-406.
- [BON 99] BONHAM G.M., SEIFERT J.W., « The disruptive and transformative potential of hypertext in the classroom : implications for active learning », *40th Annual convention of the international studies association*, Washington DC, 17-20 February 1999.
- [BRI 96] BRITT M.A., ROUET J.-F., BERFETTI C.A., « Using hypertext to study and reason about historical evidence », in J.-F. ROUET, J.J., LEVONEN, A.P. DILLON, R.J. SIRO (Eds.), *Hypertext and Cognition*, Mahwah, Lawrence Erlbaum Associates, 1996, p. 43-72.

- [BRO 89] BROWN J.S., COLLINS A., DUGUID P., «Situated cognition and the culture of learning», *Educational Researcher*, vol. 18, n° 1, 1989, p. 32-42.
- [BRU 97] BRUILLARD E., *Les machines à enseigner*, Paris, Hermès, 1997.
- [CAC 95] *Designing Hypermedia applications*, Communications of the ACM, vol. 38, n° 8, 1995.
- [CAR 95] CARO S., Rôle des organisateurs para-linguistiques dans la consultation des documents électroniques, Thèse de l'Université de Grenoble, 1995.
- [CAR 98] CARO S., BETRANCOURT, M. « Ergonomie des documents techniques informatisés : expériences et recommandations sur l'utilisation des organisateurs para-linguistiques », in A. TRICOT, J.-F. ROUET (Eds.), *Les hypermédias, approches cognitives et ergonomiques, Hypertextes et Hypermédias, numéro hors série*, 1998, p. 123-138.
- [CHE 96] CHEN C., RADA R., « Interacting with hypertext : A meta-analysis of experimental studies », *Human-Computer Interaction*, vol. 11, n° 1, 1996, p. 125-156.
- [DEE 96] DEE LUCAS D., « Effects of overview structure on study strategies and text representations for instructional hypertext », in J.-F. ROUET, J.J. LEVONEN, A. DILLON & R.J. SPIRO (Eds.), *Hypertext and cognition*, Mahwah, Lawrence Erlbaum Associates, 1996, p. 73-107
- [DEW 00] DEWHURST D.G., MACLEOD H.A., NORRIS T.A.M., « Independent student learning aided by computers : an acceptable alternative to lectures ? », *Computers & Education*, vol. 35, 2000, p. 223-241.
- [DIL 91] DILLON A., « Reader's models of text structures : the cases of academic articles », *International Journal of Man-Machine Studies*, vol. 35, 1991, p. 913-925.
- [DIL 96] DILLON A., « Myths, misconceptions, and an alternative perspective on information usage and the electronic medium » », in J.-F. ROUET, J.J. LEVONEN, A. DILLON & R.J. SPIRO (Eds.), *Hypertext and cognition*, Mahwah, Lawrence Erlbaum Associates, 1996, p. 25-42.
- [ELS 99] ELSHOUT-MOHR M., VAN HOUT-WOLTERS B., BROEKKAMP H., « Mapping situations in classroom and research : eight types of instructional-learning episodes », *Learning and Instruction*, vol. 9, n°1, 1999, p. 57-76.
- [FOS 89] FOSS C.L., « Tools for reading and browsing hypertext », *Information Processing and Management*, vol. 25, n° 4, 1989, p. 407-418.
- [GIA 92] GIARDINA M., (Ed.), *Interactive multimedia learning environments*, Proceedings of the NATO Advanced Research Workshop, Laval. Berlin, Springer Verlag, 1992.
- [GRU 92] GRUDIN, J., « Utility and usability: research issues and development contexts », *Interacting with Computers*, vol. 4, n° 2, 1992, p. 209-217.
- [GYS 96] GYSELINCK V., « Illustrations et modèles mentaux dans la compréhension de textes », *L'Année Psychologique*, vol. 96, n° 3, 1996, p. 195-216.

- [GYS 99] GYSELINCK V., TARDIEU, H., «The role of illustrations in text comprehension : What, when, for whom, and why ? », in H. VAN OOSTENDORP, S.R. GOLDMAN (EDS.), *The construction of mental representations during reading*, Mahwah, Lawrence Erlbaum Associates, 1999, pp. 195-218.
- [GYS 00] GYSELINCK V., EHRlich M.F., CORNOLDI C., DUBOIS V., « Visuospatial working memory in learning from multimedia systems », *Journal of Computer Assisted Learning*, vol. 16, n° 2, 2000, p. 166-176.
- [HAR 00] HARPER B., HEDBERG J.G., WRIGHT R., « Who benefits from virtuality ? », *Computers & Education*, vol. 34, 2000, p. 163-176.
- [HOL 92] HOLT P.O., HOWELL G. «Making connections : the logical structuring of hypertext documents », *Instructional Science*, vol. 21, 1992, p. 169-181.
- [INH 92] INHELDER B., CELLERIER, G., (Eds.), *Le cheminement des découvertes de l'enfant*, Neuchâtel, Delachaux et Niestlé, 1992.
- [JAC 95] JACOBSON M.J., SPIRO R.J., «Hypertext learning environments, cognitive flexibility, and the transfer of complex knowledge: an empirical investigation », *Journal of Educational Computing Research*, vol. 12, n° 4, 1995, p. 301-333.
- [JAM 98] JAMET E. (Ed.), Les formats de présentation des apprentissages, *Revue de Psychologie de l'Education*, vol. 3, numéro spécial, 1998.
- [JON 90] JONASSEN D.H., MANDL H., (Eds.), *Designing hypermedia for learning*, Proceedings of the NATO Advanced Research Workshop, Rottenburg/Neckar, Berlin, Springer Verlag, 1990.
- [KAL 98] KALYUGA S., CHANDLER P., SWELLER J., «Levels of expertise and instructional design », *Human Factors*, vol. 40, 1998, p. 1-17.
- [KIN 90] KINTSCH W., WELSCH D., SHMALHOFFER F., ZIMNY S., «Sentence memory : a theoretical analysis », *Journal of Memory and Language*, vol. 29, 1990, p. 133-159.
- [LAN 90] LANDOW G.P., «The rhetoric of hypermedia : some rules for author » in P. DELANY, G.P. LANDOW (Eds.), *Hypermedia and literary studies*, Cambridge, MIT Press, 1990, p. 81-104.
- [LAN 97] LANDAUER T.K., DUMAIS, S.T. «A solution to Plato's problem : the Latent Semantic Analysis theory of acquisition, induction and representation of knowledge », *Psychological Review*, vol. 104, 1997, p.211-240.
- [LAU 00] LAURILLARD D. « How can the non-linear media support the learner's own narrative construction ? » *HCT-2000, 4th Human Centred Technology Postgraduate Workshop*, University of Sussex, 3 - 4 Octobre 2000.
- [LAU 98] LAURILLARD D., STRATFOLD M., LUCKLIN R., PLOWMAN L., TAYLOR J. « Affordances for learning in a non-linear narrative medium », *AERA Conference*, San Diego, April 1998.
- [LOW 01] LOWE R. « Interactive animated diagrams: What information is extracted? » in J.-F. ROUET, J.J. LEVONEN, A. BIARDEAU (Eds.), *Multimedia Learning: Cognitive and Instructional Issues*. London, Elsevier Science, 2001.

- [MAY 91] MAYER R.E., ANDERSON R.B. « Animations need narrations : An experimental test of dual-coding hypothesis », *Journal of Educational Psychology*, vol. 83, 1991, p. 484-490.
- [MAY 92] MAYER R.E., ANDERSON R.B. « The instructive animation : Helping students build connections between words and pictures in multimedia learning » *Journal of Educational Psychology*, vol. 84, 1992, p. 444-452.
- [MAY 01] MAYER, R.E. *Multimedia learning*, Cambridge, Cambridge University Press, 2001.
- [MER 98] MERLET S. « Niveaux de traitement et intégration des informations multimédia. L'exemple de la compréhension orale en langue étrangère », in A. TRICOT, J.-F. ROUET (Eds.), *Les hypermédias, approches cognitives et ergonomiques, Hypertextes et Hypermédias, numéro hors série*, 1998.
- [MOH 92] MOHAGEG M.F., « The influence of hypertext linking structures on the efficiency of information retrieval », *Human Factors*, vol. 34, n° 3, p. 351-367, 1992.
- [MOU 95] MOUSAVI S., LOW R., SWELLER, J. « Reducing cognitive load by mixing auditory and visual presentation modes », *Journal of Educational Psychology*, vol. 87, 1995, p. 319-334.
- [MYL 88] MYLES-WORSLEY M., JOHNSTON W.A., SIMONS M.A. « The influence of expertise on X-Ray image processing ». *Journal of Experimental Psychology : Learning, Memory and Cognition*, vol. 14, n° 3, 1988, p. 553-557.
- [NAJ 96] NAJJAR L.J., «Multimedia information and learning», *Journal of Educational Multimedia and Hypermedia*, vol. 5, 1996, p. 129-150.
- [NAN 98] NANARD J., NANARD M., «La conception d'hypermédias », in A. TRICOT, J.-F. ROUET (Eds.), *Les hypermédias, approches cognitives et ergonomiques, Hypertextes et Hypermédias, numéro hors série*, 1998, p. 15-34.
- [NAV 01] NAVARRO, C. « Partage de l'information en situation de coopération à distance et nouvelles technologies de la communication: bilan de recherches récentes », *Le Travail Humain*, Vol. 64, n° 4, 2001, p. 297-319.
- [NIE 94] NIELSEN J., *Usability engineering*, Boston, Academic Press, 1994.
- [NOR 92] NORMAN G.R, BROOKS L., COBLENTZ C.L., BABCOOK C.J. «The correlation of feature identification and category judgments in diagnostic radiology », *Memory & Cognition*, vol. 20, n° 4, 1992, p. 344-355.
- [NYK 99] NYKÄNEN O., ALA-RANTALA M., « A design for hypermedia-based learning environment », *Education and Information Technologies*, vol. 3, 1999, p. 277-290.
- [OLI 92] OLIVEIRA A. (Ed.), *Hypermedia courseware : Structures of communication and Intelligent Help*. Proceedings of the NATO Advanced Research Workshop, Espinho. Berlin, Springer Verlag. 1992
- [OOS 98] VAN OOSTENDORP H., HOFFMAN R., « L'effet cognitif d'une carte de contenus dans un hypertexte », in J.-F. ROUET, B. DE LA PASSARDIERE (Eds.), *Hypermédias et Apprentissages 4*, Paris, Presses de l'INRP / EPI, 1998.

- [PAS 00] PASSERINI K., GRANGER M., « A developmental model for distance learning using the Internet », *Computers & Education*, vol. 34, 2000, p. 1-15.
- [PY 98] PY D., « Quelques méthodes d'intelligence artificielle pour la modélisation de l'élève », *Sciences et Techniques Educatives*, vol. 5, n° 2, 1998, p. 123-140.
- [RDS 99] ROUET J.-F., DILLENBOURG P., STEFFENS K., VAN OOSTENDORP H., (Eds) Analysing learner-computer interaction, *Instructional Science*, special issue, Vol. 27, n° 3/4, 1999.
- [REA 94] READER W., HAMMOND N. « Computer-based tools to support learning from hypertext : concept mapping tools and beyond », *Computers Education*, vol. 22, n° 1/2, 1994, p. 99-106.
- [ROU 90] ROUET J.-F., « Interactive text processing in inexperienced (hyper-) readers », in A. RIZK, N. FREITZ, J. ANDRE (Eds.), *Hypertexts : Concepts, systems and applications*, Cambridge, Cambridge University Press, 1990, p. 250-260.
- [ROU 98] ROUET J.-F., DE LA PASSARDIERE B., (Eds.), *Hypermédiat et Apprentissages 4* Paris, Presses de l'INRP / EPI, 1998.
- [ROU 99] ROUET, J.-F., PASSERAULT, J.-M. « Analyzing learner-hypermedia interaction: An overview of online methods ». *Instructional Science*, Vol. 27, n° 3/4, 1999, p. 201-219.
- [ROU 01] ROUET, J.-F., LEVONEN, J.J., BIARDEAU, A. (Eds.), *Multimedia learning: Cognitive and instructional issues*, London, Elsevier Science, 2001.
- [SCA 97] SCAPIN D.L., BASTIEN J.M.C. « Ergonomic criteria for evaluating the ergonomic quality of interactive systems », *Behavior & Information Technology*, vol. 17, 4/5, 1997, p. 220-231.
- [SPI 90] SPIRO, R.J., JEHNG, J.C. « Cognitive flexibility and hypertext: Theory and technology for the non-linear and multidimensional traversal of complex subject matter », in D. DIX, R.J.SPIRO (Eds.). *Cognition, education and multimedia: exploring ideas in high technology*, Hillsdale, Lawrence Erlbaum Associates, 1990, p. 163-205.
- [SRA 97] SCAIFE M., ROGERS Y., ALDRICH F., DAVIES M. « Designing for or disigning with ? Informant Design for Interactive learning environments », *CHI 97 Electronic Publications*, 1997 www.acm.org/sigchi/chi97/proceedings/papers/ms.htm.
- [STA 00] STANTON N., CORREIRA A.P., DIAS P., « Efficacy of a map on search, orientation and access behaviour in a hypermedia system », *Computers & Education*, vol. 35, 2000, p. 263-279.
- [SWA 94] SWAN, K. «History, hypermedia, and criss-crossed conceptual landscapes », *Journal of Educational Multimedia and Hypermedia*, vol. 3, n° 2, 1994, p. 120-139.
- [SWE 90] SWELLER J., CHANDLER P., TIERNEY P., COOPER M., « Cognitive load as a factor in the structuring of technical material », *Journal of Experimental Psychology*, vol. 119, n° 2, 1990, p. 176-192.
- [SWE 99] SWELLER, J. *Instructional design*, Melbourne, ACER Press, 1999.
- [TAR 02] TARDIEU H., GYSLINCK V., « Working memory constraints in the integration and comprehension of information in a multimedia context », in H. VAN OOSTENDORP (Ed.), *Cognition in a digital World*, Lawrence Erlbaum Associates, 2002.

- [TIN 97] TINDALL-FORD S., CHANDLER P., SWELLER J., « When two sensory modes are better than one », *Journal of Experimental Psychology: Applied*, vol. 3, 1997, p. 257-287.
- [TPB 00] TRICOT A., PIERRE-DEMARCY C., EL BOUSSARGHINI R. « Specific help devices for educational hypermedia », *Journal of Computer Assisted Learning*, vol.16, n°2, 2000, p. 102-113.
- [TPB 98] TRICOT A., PIERRE-DEMARCY C., EL BOUSSARGHINI R. « Définitions d'aides en fonction des types d'apprentissages dans des environnements hypermédia », in J.-F. ROUET, B. DE LA PASSARDIERE (Eds.), *Hypermédiats et Apprentissages 4*, Paris, Presses de l'INRP / EPI, 1998.
- [TRC 95] TRICOT A., COSTE J.-P., « Evaluating complex learner-computer interaction : what criteria for what task ? », *EARLI'95 Conference*, Nijmegen, 1995.
- [TRI 00] TRICOT A., TRICOT, M. « Un cadre formel pour interpréter les liens entre utilisabilité et utilité des systèmes d'information (et généralisation à l'évaluation d'objets finalisés) ». *Colloque Ergo-IHM 2000*, Biarritz, 3-6 octobre 2000
- [TRI 93] TRICOT A., « Ergonomie cognitive des systèmes hypermédia », in *Actes du Colloque de prospective Recherches pour l'Ergonomie*, Toulouse, 1993, p. 115-122.
- [TRI 95a] TRICOT A., « Un point sur l'ergonomie des interfaces hypermédia », *Le Travail Humain*, vol. 58, n° 1, 1995, p. 17-45.
- [TRI 95b] Tricot A. Modélisation des processus cognitifs impliqués par la navigation dans les hypermédiats, Aix en Provence, Thèse de l'Université de Provence, spécialité Psychologie Cognitive. 1995.
- [TRI 96] TRICOT A., BASTIEN C., « La conception d'hypermédiats pour l'apprentissage : structurer des connaissances rationnellement ou fonctionnellement ? », in E. BRULLARD, J.-M. BALDNER., G.-L. BARON (Eds.), *Hypermédiats et Apprentissages 3*, INRP - EPI, 1996, p. 57-72
- [TRI 99] TRICOT A., PUIGSERVER E., BERDUGO D., DIALLO M., « The validity of rational criteria for the interpretation of user-hypertext interaction », *Interacting with Computers*, vol. 12, 23-36.
- [TRR 99] TRICOT A., RUFINO A., « Modalités et scénarios d'interaction dans des hypermédiats d'apprentissage » *Revue des Sciences de l'Éducation*, numéro thématique, vol. XXV, n° 1, 1999, p. 105-129.
- [TUO 99] TUOVINEN J.E., SWELLER J. « A comparison of cognitive load associated with discovery learning and worked examples », *Journal of Educational Psychology*, vol. 91, n° 2, 1999, p. 334-357.
- [WIC 87] WICKENS, C.D. « Attention », in P. HANCOCK (Ed.), *Human factors in psychology*, Amsterdam, North Holland, 1987.
- [WIC 90] WICKENS C.D., ANDRE A.D. « Proximity compatibility and information display : effects of color, space, and objectness on information integration », *Human Factors*, vol. 32, 1990, p. 61-77.

- [WIL 99] WILSON B.G. MADSEN MYERS K., « Situated cognition in theoretical and practical context », in D. JONASSEN, S. LAND (Eds.), *Theoretical foundations of learning environments*, Mahwah, Lawrence Erlbaum. Associates, 1999.
- [WOL 01] WOLFE, C.R., *Learning and teaching on the World Wide Web*, San Diego, Academic Press, 2001
- [WRI 90] WRIGHT P., « Hypertext as an interface for learners : some human factors issues », in D.H. JONASSEN, H. MANDL (Eds.), *Designing hypermedia for learning*, Springer Verlag, 1990, p. 169-184.
- [WRI 91] WRIGHT P. «Cognitive overheads and protheses : some issues in evaluating hypertexts », *Hypertext'91 Proceedings*, San Antonio, 15-18 décembre 1991, New York, ACM Press, 1991.
- [WRL 90] WRIGHT P., LICKORISH A., « An empirical comparison of two navigation systems for two hyper-texts », in R. MCALEESE, C. GREEN (Eds.), *Hypertext : State of the Art*, Intellect Ltd, Oxford, 1990.
- [WRL 94] WRIGHT P., LICKORISH A., « Menus and memory load : navigation strategies in interactive search tasks », *International Journal of Human-Computer Studies*, vol. 40, 1994, p. 965-1008.